

⑤

Int. Cl. 2:

**H 04 R 7/10**

⑬

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

H 04 R 17/00

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

⑪

# **Auslegeschrift 25 37 788**

⑫

Aktenzeichen: P 25 37 788.2-31

⑬

Anmeldetag: 25. 8. 75

⑭

Offenlegungstag: 10. 3. 77

⑮

Bekanntmachungstag: 9. 8. 79

③

Unionspriorität:

⑫ ⑬ ⑭

⑤

Bezeichnung:

Ultraschallwandler

⑦

Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑧

Erfinder:

Magori, Valentin, Dipl.-Phys., 8000 München

⑥

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DD 56 124

**DE 25 37 788 B 2**

Fig.1

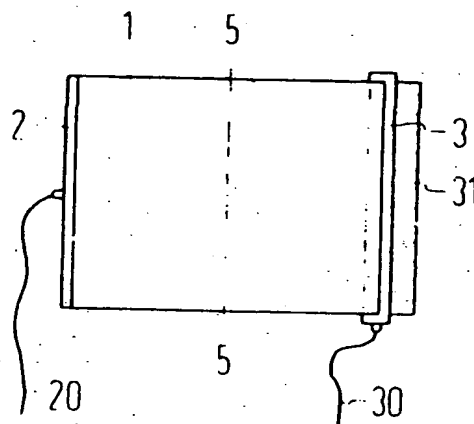
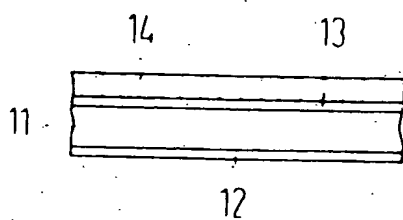


Fig.2



## Patentanspruch:

Ultraschallwandler zur Aussendung von Ultraschallschwingungen vorgegebener Wellenlängen in ein Ausbreitungsmedium, mit einem Wandlerkörper und mit einer an das Ausbreitungsmedium angrenzenden  $\lambda/4$ -Schicht, die einen Kunststoff enthält und eine akustische Impedanz hat, die zwischen der des Materials des Wandlerkörpers und dem des Ausbreitungsmediums liegt, dadurch gekennzeichnet, daß der Wandlerkörper (1) aus Piezokeramik besteht und daß zur Aussendung in Luft als Ausbreitungsmedium die  $\lambda/4$ -Schicht (31) aus Hohlkugeln aus Glas oder Siliziumdioxid besteht, die mittels eines organischen Harzes, wie Epoxydharz oder mittels Polystyrol zu einem Schaumstoff gewunden sind, der bei einer an Luft als Ausbreitungsmedium angepaßten akustischen Impedanz kleine Dichte und hohe Schwinggüte aufweist.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallwandler, wie er im Oberbegriff des Patentanspruches angegeben ist.

Aus der DD-Patentschrift 56 124 ist es bekannt, für einen Ultraschallwandler ein Anpassungsglied mit  $\lambda/4$ -Schichten vorzusehen, mit dem eine stufenweise Anpassung dieses Wandlers an ein flüssiges Medium erreicht wird. Für eine der  $\lambda/4$ -Schichten gilt, daß das Produkt aus Schallgeschwindigkeit und Dichte des Materials dieser Schicht angenähert gleich dem Wert des geometrischen Mittels ist, das sich für die Produkte aus Schallgeschwindigkeit und Dichte der angrenzenden Medien ergibt. Eine  $\lambda/4$ -Schicht dieses Anpassungsglieds kann dabei ein Anteil des Gehäuses des Wandlers sein.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, für eine Anpassung eines Ultraschallwandlers aus Piezokeramik an Luft als Schall-Ausbreitungsmedium für die  $\lambda/4$ -Schicht ein Material anzugeben, das trotz der anzustrebenden geringen, sich aufgrund der mathematischen Anpassungsbedingung ergebenden Dichte eine für die Schallabstrahlung in Luft ausreichend hohe mechanische Festigkeit hat.

Diese Aufgabe wird für einen Ultraschallwandler nach dem Oberbegriff erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Kennzeichens des Patentanspruches gelöst.

Für die Schallabstrahlung in Luft als Schallausbreitungsmedium sind hohe Schwingamplituden des schallabgebenden Körpers erforderlich. Aus diesem Grunde ließ sich, wie der Erfinder festgestellt hat, Schaumpolystyrol für eine  $\lambda/4$ -Schicht zur Anpassung an Luft nicht verwenden, obwohl dieses Material eine geringe Dichte hat, die sich aufgrund der mathematischen Anpassungsbedingung für den Wellenwiderstand  $\rho_s \cdot c_s = (\rho \cdot c \cdot \lambda / 4)^{1/2}$  ergibt. Es wurde gefunden, daß erst ein wie erfindungsgemäß verwendeter Schaumstoff mit sehr hoher Elastizität bei geringer Dichte das der Erfindung gesteckte Ziel erreichen läßt. Der erfindungsgemäß verwendete Schaumstoff hat eine so hohe mechanische Festigkeit, daß dieser Schaumstoff bei Anschlagen mit einem harten Gegenstand einen hellen, fast metallischen Klang von sich gibt. Dieses Material mit geringer Dichte und niedriger Schallgeschwindigkeit ist mechanisch robust und homogen und hat eine

hohe Schwinggüte, d. h. geringe mechanische Dämpfung.

Bei einem ersten Ausführungsbeispiel wurden gläserne Hohlkugeln, deren Durchmesser ca. 0,1 mm betrug, mit Polystyrolack vermischt. Nach dem Trocknen des Lackes erhielt man einen Schaumstoff mit einer Porengröße von ca. 0,1 mm und einer Dichte von ca.  $0,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Dieses Material besaß eine akustische Impedanz von  $3,6 \cdot 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wurde ein Schaumstoff aus einer Mischung von Polystyrolack mit Hohlkugeln aus Siliziumdioxid, die einen Durchmesser zwischen den Werten  $30 \mu\text{m}$  und  $125 \mu\text{m}$  und eine Wandstärke von ca.  $2 \mu\text{m}$  aufwiesen, hergestellt. Derartige Hohlkugeln sind unter dem Namen Eccospheres SI der Fa. Emerson & Cumming bekannt. Diese Kugeln bilden ein weißes Pulver mit einer Dichte von ca.  $0,18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , die Dichte der Kugelwandungen beträgt im Mittel ca.  $0,26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Ein aus vier Gewichtsteilen Benzol und einem Gewichtsteil Polystyrol bestehender Lack wurde mit zwei Gewichtsteilen dieser Siliziumdioxid-Hohlkugeln verrührt. Dabei wurde darauf geachtet, daß möglichst keine Luftblasen entstehen. Anschließend wurde die entstandene breiige Masse auf dem Boden eines Gefäßes zum Trocknen vergossen. Nach einer Trockenzeit von 2 Tagen erhält man eine Schaumstoffplatte mit einer Dichte von ca.  $0,16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Diese Platte gibt beim Anschlagen mit einem harten Gegenstand einen hellen, fast metallischen Klang von sich. Dieser Schaumstoff weist eine Schallgeschwindigkeit von ca.  $1450 \text{ m/s}$  auf, damit ergibt sich eine akustische Impedanz von  $2,1 \cdot 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Die Porengröße des Schaumes ist durch die Siliziumdioxid-Hohlkugeln vorgegeben. Die Dichte des Schaumes ist kleiner als die Dichte des Hohlkugelpulvers. Dies ist dadurch zu erklären, daß beim Verdunsten des Benzols das Polystyrol durch Kapillarkräfte an den Berührungspunkten zwischen den Kugeln kleine Polystyroltröpfchen bildet, der übrige Zwischenraum zwischen den Hohlkugeln bleibt leer. Im Vergleich zur dichtesten Kugelpackung der Siliziumdioxid-Hohlkugeln vergrößert sich damit der Abstand dieser Kugeln untereinander, so daß die Dichte des fertigen Schaumstoffes geringer ist als die Dichte des Hohlkugelpulvers. Dieser Schaumstoff hat sehr günstige akustische Eigenschaften, dafür sind wahrscheinlich die elastischen Eigenschaften der Hohlkugeln verantwortlich.

Das beschriebene Mischungsverhältnis für den Schaumstoff aus Siliziumdioxid-Hohlkugeln hat sich als optimal herausgestellt, bei kleinerem Polystyrolanteil leidet die mechanische Stabilität des Schaumstoffes, während eine Steigerung des Polystyrolanteiles um den Faktor 1,5 bereits die akustischen Eigenschaften deutlich verschlechtert, ohne die mechanische Stabilität des Schaumstoffes zu verbessern. Auch der richtige Benzolanteil ist wichtig, zuwenig Benzol ergibt einen zähen Brei, der sich nur schwer verrühren und vergießen läßt. Zuviel Benzol erschwert das Mischen, weil die Siliziumdioxid-Hohlkugeln dann auf dem Benzol-Polystyrol-Gemisch schwimmen, außerdem besitzt eine derartige Mischung eine lange Trocknungszeit und neigt zu Ribbildung und Schrumpfung.

Statt Polystyrol können auch Epoxidharz oder andere organische Harze verwendet werden.

Die getrocknete Schaumstoffplatte sollte an keiner Stelle dünner als 5 mm sein. Durch Schneiden und Schleifen werden danach die für den Ultraschallwandler

vorgesehenen  $\lambda/4$ -Schichten hergestellt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Fig. 1 und 2 erläutert, die Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen Ultraschallwandlern zeigen.

Die Fig. 1 stellt einen piezokeramischen Ultraschallwandler dar. Dieser besitzt einen piezoelektrischen Keramikkörper 1, der beispielsweise zylindrisch ist und einen Durchmesser von 8,5 mm und eine Länge von 6,9 mm besitzt. Die Piezokeramik ist in der Richtung der Längsachse des Zylinders gepolt. Die Stirnflächen dieses Zylinders sind mit den Elektroden 2 und 3 versehen, die z. B. aus Silber bestehen können und durch Einbrennen hergestellt werden können. An diese Elektroden sind die Anschlußlitzen 20, 30 angelötet, sie können mit einer Wechselspannungsquelle verbunden werden, so daß der Schallwandler Ultraschallschwingungen mit der Frequenz der Wechselspannung ausführt. Zumindest eine der Elektroden ist kappenartig etwas über den Rand der Stirnfläche des Keramikzylinders herangezogen. Damit ist es möglich, die Anschlußlitze 30 seitlich anzulöten, so daß die Stirnfläche auf dieser Seite des Zylinders vollständig plan ist, wie es zum Aufbringen der  $\lambda/4$ -Schicht 31 vorteilhaft ist. Im Bereich einer Schwingungsknotenlinie, die hier mit der Linie 5 bezeichnet ist, kann der Ultraschallwandler in eine Halterung (nicht dargestellt) eingespannt werden.

Die Verbesserung des Wirkungsgrades des erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers, die auf der speziellen Wahl des Materials für die  $\lambda/4$ -Schicht beruht, läßt erreichen, daß innerhalb des Ultraschallwandlers weniger Schallenergie in Wärme umgewandelt wird.

Ein wie erfindungsgemäßer Ultraschallwandler läßt eine relativ schmale Abstrahlkeule erreichen, wodurch er sich besonders gut für einen Ultraschall-Entfernungsmesser eignet. Bei einer solchen Entfernungsmessung wird ein Ultraschallimpuls ausgesandt, der von einem Objekt zum Ultraschallwandler zurückreflektiert wird. In diesem Ultraschallwandler wird nach Ablauf der Laufzeit des Ultraschallimpulses (vom Wandler zum Objekt und wieder zurück) ein entsprechendes elektrisches Ausgangssignal abgegriffen. Bei einem minimalen Objektabstand von ca. 40 cm beträgt die akustische Laufzeit ca. 24 ms.

Bislang war es schwierig, bei Ultraschallaussendung in Luft eine genügend kurze Abklingzeit des Ultraschallwandlers zu erreichen. Unter Abklingzeit versteht man eine Zeitspanne, die ein Ultraschallwandler nach Aussendung eines Schallimpulses benötigt, um wieder in Ruhezustand zu gelangen. Die  $\lambda/4$ -Schicht aus dem erfindungsgemäß verwendeten Material, das aufgrund seiner oben angegebenen Eigenschaften zu einer hohen Abstrahlleistung (auch bei nicht eingehaltener, oben angegebener mathematischer Bedingung bezüglich der Dichte) führt, bewirkt indirekterweise eine höhere

Betriebsdämpfung des Ultraschallwandlers. Dessen Abklingzeit wird damit drastisch vermindert. Mit der erfindungsgemäß getroffenen Wahl des Materials für diese  $\lambda/4$ -Schicht wird somit erreicht, daß die Restschwingung des Ultraschallwandlers mit dem zeitlich nächstmöglichen Echoimpuls, d. h. mit dem nach kürzester Zeit von einem Objekt reflektierten Schallimpuls, interferiert. Das in der Fig. 1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers besitzt eine Abklingzeitkonstante von 0,24 ms, d. h. nach einer Zeitspanne von 0,24 ms ist die Amplitude des Schallwandlers auf ihren halben Wert abgesunken.

Aufgrund der höheren Betriebsdämpfung besitzt der erfindungsgemäß ausgestattete Ultraschallwandler eine entsprechend größere Bandbreite, so daß auch solche Frequenzen, die von der Resonanzfrequenz des Wandlers abweichen, noch mit einer großen Schallintensität erzeugt werden können.

Der in der Fig. 1 dargestellte Ultraschallwandler besitzt eine Serienresonanzfrequenz von 190 kHz und eine Parallelresonanzfrequenz von 230 kHz. Aufgrund der höheren Leistungsaufnahme bei dieser Resonanz wurde der Wandler in Parallelresonanz betrieben. Dabei beziehen sich Parallelresonanz und Serienresonanz auf das Ersatzschaltbild des Wandlers. Bei Parallelresonanz wird die Resonanz einer Kapazität und eine dazu parallel liegenden Induktivität angeregt, bei Serienresonanz die Resonanz einer Kapazität und einer dazu in Reihe liegenden Induktivität.

Ein anderes vorteilhaftes Beispiel für einen Wandler mit  $\lambda/4$ -Schicht ist ein Radialschwinger, wie er in Fig. 2 dargestellt ist. Dieser Wandler besitzt einen scheibenförmigen, kreisförmigen Keramikkörper 11, der auf seinen beiden Stirnflächen die Elektroden 12, 13 besitzt. Auf einer Elektrode ist die  $\lambda/4$ -Schicht 14 aufgeklebt. Wird an die Elektroden eine Wechselspannung gelegt, so führt der Keramikkörper Radialschwingungen aus, gleichzeitig werden in Dickenrichtung des Keramikkörpers Kontraktionen und Expansionen erzeugt. Durch die  $\lambda/4$ -Schicht auf der einen Stirnfläche wird wiederum vorteilhafterweise erreicht, daß fast nur von dieser Stirnfläche Schallenergie abgestrahlt wird, nicht aber von der anderen Stirnfläche bzw. vom Körperend.

Eine  $\lambda/4$ -Schicht aus erfindungsgemäß verwendetem Material für Schallstrahlung in Luft kann auch bei anderen Wandlerkonstruktionen verwendet werden, z. B. bei einem Biegeschwinger, bei dem eine Keramiklamelle zu Biegeschwingungen erregt wird. In diesem Falle liegt die  $\lambda/4$ -Schicht auf einer Seite der Lamelle.

Es ist auch möglich, magnetostriktive Ultraschallwandler an einer Schallabstrahlfläche mit einer  $\lambda/4$ -Schicht mit erfindungsgemäß verwendetem Material auszurüsten.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen